Die Wirkung einiger klimatischer Faktoren sowie der jahreszeitlichen Periodizität auf den Erythrocytenspiegel europäischer Reptilien

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der Philosophischen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Roland Richter
aus Leipzig

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Juli 1932
Tag der Promotion: 10. Dezember 1932

1933

421

Die Wirkung einiger klimatischer Faktoren sowie der jahreszeitlichen Periodizität auf den Erythrocytenspiegel europäischer Reptilien

---

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der Philosophischen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Roland Richter
aus Leipzig

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Juli 1932
Tag der Promotion: 10. Dezember 1932

1933

Referenten: Prof. Dr. R. Hesse

Prof. Dr. C. Zimmer

Abdruck aus den
Zoologischen Jahrbüchern. Bd. 52. Abt. f. allg. Zool. u. Physiol. 1933.
Begründet von J. W. Spengel.
Herausgegeben von M. Hartmann in Berlin-Dahlem und R. Hesse in Berlin.
Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht vorbehalten.

Die Physiologie der Erythrocyten und besonders die Schwankungen ihrer Zahl in der Raumeinheit ist bei Kaltblütern noch verhältnismäßig wenig erforscht, am besten meines Wissens bei Amphibien. Die Ergebnisse sind jedoch nicht einheitlich; das liegt zum Teil daran, daß die Technik der Blutkörperzählung sich in der letzten Zeit wesentlich geändert hat. Die Ergebnisse, die mit verschiedener Technik gewonnen wurden, lassen sich nicht unmittelbar vergleichen. Auch die Wahl des Mittels, das zur Betäubung vor der Blutentnahme verwendet wurde, spielt wohl eine Rolle; so findet Abderhalden (1927), daß bei Hunden die Zahl der Erythrocyten durch Narkose mit Chloralhydrat sinkt, durch Äthernarkose steigt. Eine wichtige Rolle spielt unter den Umweltbedingungen der Tiere die Jahreszeit. Sie vermag sich in zweifacher Weise bemerkbar zu machen: Erstens wirkt die Änderung eines oder mehrerer klimatischer Faktoren unmittelbar auf den Organismus; zweitens können Erscheinungen auftreten, die nicht abhängig sind von einer akuten Änderung der Umweltsbedingungen, sondern auch unter völlig gleichmäßigen klimatischen Verhältnissen auftreten; sie sind bedingt durch

den Ablauf einer den Tieren innewohnenden Rhythmik, die ich im folgenden die „innere Periodizität“ nennen will. Ob diese Periodizität artgebunden ist oder von jeder Generation neu erworben wird, oder ob sie in Form einer „Dauermodifikation“ (Jollos, 1913) auftritt, müßte von Fall zu Fall entschieden werden.

Der Einfluß der Jahreszeit auf die Höhe des Erythrocytenspiegels ist von Schlicher (1927) an Teleosteern, von Zepp (1923), Heesen (1924) und Lövinsohn (1930) bei Amphibien genauer untersucht worden. Schlicher (1927) findet eine starke Abhängigkeit von der Jahreszeit: vor der Laichzeit Anstieg, dann Abfall, Anstieg bis zum Herbst, im Herbst Abfall, im Winter hohe bis höchste Werte. Den Abfall nach dem Laichen bringt er in unmittelbaren Zusammenhang mit dem Laichgeschäft, indem er ihn auf Erschöpfung durch das Laichen zurückführt; er fand nämlich bei nicht geschlechtsreifen Karpfen keine Bewegung des Erythrocytenspiegels um diese Zeit.

Zepp (1923) und Heesen (1924) finden übereinstimmend eine ähnliche Bewegung; starken Abfall nach dem Laichen, dann Anstieg bis zum Frühjahr; das Maximum beobachteten sie zu Beginn der Laichzeit. Ihre Erklärung ist dieselbe wie bei Schlicher. Lövinsohn (1930) hält diese Zahlen aber für lediglich durch Wasseraufnahme bzw. -abgabe begründet, da bei all diesen Tieren mit dem Laichen ein längerer Aufenthalt im Wasser verbunden ist, der die Flüssigkeitsmenge im Blut zu vergrößern imstande sei. Er fand bei *Rana fusca*, die während des ganzen Jahres untersucht und in H_2O gesättigter Atmosphäre gehalten wurden, keine Unterschiede der Erythrocytenzahl. Alle drei Autoren stellen übrigens die Abhängigkeit vom Austrocknen fest.

Bei Reptilien liegen über die Abhängigkeit der Erythrocytenzahl von der Jahreszeit meines Wissens noch keine Untersuchungen vor; wohl aber hat Babuder (1929), der den Prozentsatz der Jugendformen der Blutkörper im Laufe des Jahres untersucht hat, im Frühjahr einen starken Anstieg der Zahl der unreifen Erythrocyten (Karyokinesen, „forme giovane“, basophile und polychromatophile Erythrocyten) festgestellt; den Sommer hindurch hält sich die Zahl konstant; im Herbst (November) findet er viele Degenerationsstadien. Er hält das Vorkommen solcher Jugendformen für einen Beweis für die Vermehrung der Erythrocyten in strömendem Blut, meiner Ansicht nach zu Unrecht; hat man doch auch bei Säugern und Vögeln (*Anser*) stets eine gewisse Zahl von Jugendformen gefunden; hier ist man aber der Ansicht, daß sie aus den blutbildenden Organen

ausgeschwemmt seien; ihre Zahl steigt sehr schnell nach Aderlässen oder anämischen Krankheiten; auf eine Vermehrung der Blutkörper durch Teilung der reifen Zellen in der Blutbahn kann man aber nicht daraus schließen.

Einen Einfluß der Temperatur auf die Zahl der Blutkörper können Schlicher (1927) an Teleosteern, Zepp (1923) und Lövinsohn (1930) bei Fröschen nicht beobachten. Zepp fand bei Fröschen durch Hunger eine starke Verminderung der Erythrocytenzahl, was Lövinsohn nicht konstatieren konnte.

Die auffallende Tatsache, daß bei Säugern die Erythrocytenzahl im Hochgebirge stark steigt, sowie daß *Rana fusca* im Gebirge eine höhere Erythrocytenzahl hat als in der Ebene (Lövinsohn), wird von den meisten Autoren auf die Wirkung des ultravioletten Lichtes zurückgeführt; einige Autoren lehnen diese Wirkung ab. So finden Loewy und Vogel Eysern (1928), Berner (1915), Königsfeld (1921) nach Bestrahlung mit der Quecksilberdampf-Quarzlampe bei Menschen keine Erhöhung der Erythrocytenzahl pro cmm, Sellier findet durch Herabsetzung des O_2-Partialdrucks, Schaumann und Rosenquist durch Senkung des Gesamtdrucks der Atemluft (Lungensaugmaske) eine Vermehrung der Erythrocyten beim Menschen. A. v. Koranyi (1908) sieht durch Atmung reinen Sauerstoffs die im Gebirge eingetretene Erhöhung der Erythrocytenzahl wieder zurückgehen. Lövinsohn (1930) fand die letzteren Faktoren, sowie ozonisierte und ionisierte Luft und deren Kombinationen bei *Rana fusca* (Tieflandexemplare) unwirksam, wirksam dagegen ultraviolettes Licht (Original Hanau) in richtiger Dosierung im Sinne einer Erythrocytenvermehrung und verstärkter Pigmentierung. Dabei spielten Rassenunterschiede eine Rolle.

Die Frage, ob eine beobachtete Änderung der Zahl der Formelemente in der Raumeinheit auf einer wirklichen Produktion oder Reduktion beruht, oder vielmehr auf einer Abgabe bzw. Aufnahme von Wasser in und aus der Blutbahn, ist in keinen der mir bekannten Fälle eindeutig entschieden worden [1]) (es ändert sich z. B. die Durchlässigkeit mancher semipermeabler Membranen unter dem Einfluß des ultravioletten Lichtes); auch ich kann diese Frage bei meinen Untersuchungen nicht beantworten, wenn auch ein größerer Wasserverlust durch Verdunstung, ebenso wie in Schlicher's und Lövinsohn's Versuchen, möglichst vermieden wurde.

1) Siehe auch S. 443.

Methodik.

Zur Untersuchung gelangten:

Lacerta viridis Laur.
„ *agilis* L.
„ *serpa* Raf.
„ *muralis* Laur.
Lacerta vivipara Jacquin.
Tropidonotus natrix bilineatus Bibr.
Ophisaurus apus Pall.
Emys orbicularis L.

Die Tiere stammten: *L. agilis* aus Berlin oder dem Bodenseegebiet, *L. vivipara* aus Berlin oder Holzminden (Tierhandlung L. Koch), *L. muralis* aus Sirmione del Garda (Gardasee), die übrigen aus der Gegend von Zara (Dalmatien; Istituto Zoologico Adriatico).

Waren keine Versuche mit den Tieren beabsichtigt, so wurden sie 2 Tage nach dem Fang oder Ankunft untersucht; während dieser Zeit wurden sie zur Ausgleichung ihres Wassergehalts im Terrarium unter folgenden Bedingungen gehalten: als Bodenfüllung diente trockenes Moos. Trinkwasser wurde öfters im Behälter verspritzt; außerdem war ein gefülltes Trinkgefäß vorhanden. Die Temperatur betrug tags 20—30° C, nachts weniger; an kalten Tagen und im Winter wurde die Temperatur durch eine elektrische Glühbirne auf der erforderlichen Höhe gehalten; nachts war die Birne ausgeschaltet. Diese Bedingungen sind stets gemeint, wenn im folgenden von „Terrariumhaltung" die Rede ist.

Es wurde geprüft, ob diese Haltung, bei welcher die Tiere auf willkürliches Trinken angewiesen sind, vor einem Wasserverlust durch Verdunstung schützt; zu diesem Zwecke wurden *Lacerta agilis*, *L. viridis* und *T. natrix* eine Woche lang im Terrarium gehalten, die Kontrollen in einer H_2O-Dampf gesättigten Atmosphäre (Glaswanne mit feuchtem Fließpapier ausgelegt). Die Erythrocytenzahl war in beiden Fällen nahezu dieselbe.

	Erythrocytenzahl in Zehntausendern	
	in dampfgesättigter Luft	im Terrarium
Tropidonotus	100,6	100,2
Lac. agilis	136,0	135,3
Lac. viridis	114,0	113,9

Es wurden je 5 Exemplare untersucht und das arithmetische Mittel genommen.

Emys wurde in einer Blechwanne mit Wasser, mit einigen trockenen Steinen darin gehalten; da eine Heizung hier große Schwierigkeiten machte, wurde davon abgesehen; die Temperaturschwankungen waren also etwas größer (ca. 10—25° C).

Als Betäubungsmittel vor der Blutentnahme diente stets Äther in Dampfform. *Emys* ist auf diese Weise nur schwer zu betäuben, da sie unter der Wirkung des Äthers die Atmung einstellt; es wurde daher statt einer Narkose mit einer Schere die Wirbelsäule dicht hinter dem Kopf durchschnitten.

Die Blutentnahme geschah stets aus der noch lebhaft pulsierenden Herzkammer; wenn die Pulsationen zu schwach sind oder schon aufgehört haben, kann die eintretende Senkung der Blutkörperchen im Herzen leicht die Ergebnisse fälschen.

Als Verdünnungsflüssigkeit diente die Hayem'sche Lösung, die Verdünnung war 200fach, bei einigen *Lac. vivipara*, wo die Kleinheit des Tieres die Entnahme einer größeren Blutmenge verhinderte, auch 400fach.

Zum Zählen diente die Zählkammer von Bürker-Zeiss. Es wurden in jeder Kammer 80 kleine Quadrate ausgezählt und das Mittel genommen; dieser Kammerwert ist mit 10^4 zu multiplizieren, um die Zahl in cmm zu erhalten. In dieser Arbeit sind stets die Kammerwerte aufgeführt. Betrug die Differenz der Kammern mehr als 10 %, so wurde die Zählung nicht notiert.

Die Zahlen dieser Arbeit sind, wenn nicht besonders angegeben, die arithmetischen Mittel einer Versuchsreihe; die Zahl vor der Durchschnittszahl gibt die Anzahl der Versuchstiere an, z. B. (3:175) = 3 Tiere, deren Durchschnittswert 175 war. Die Einzelwerte sämtlicher Versuchstiere liegen im Zool. Institut d. Univ. Berlin auf und können dort eingesehen werden.

Vorversuche.

Es wurden *L. agilis* L. und *viridis* Laur. im Terrarium: 1. unter normalen Bedingungen, sowie 2. ohne Futter oder 3. ohne Wasser und Futter gehalten. Die Versuchsdauer betrug je 14 Tage. Bei den Tieren unter normalen Bedingungen sowie bei den Hungertieren zeigte sich keine Änderung der Erythrocytenverhältnisse, dagegen bewirkt Wassermangel eine Steigerung der Erythrocytenzahl bis zu ca. 120 %. Genaue Bestimmungen des Wasserverlustes wurden nicht ausgeführt, weshalb ich auch auf die Angabe der genauen Zählungsergebnisse verzichte.

Temperaturen von 10° und 40° (14 Tage lang) hatten, wenn reichlich Wasser gereicht wurde, ebenfalls keinen Einfluß.

Versuche.

Einfluß der „inneren" jahreszeitlichen Periodizität unter gleichförmigen Außenbedingungen.

Untersuchung 1.

Lacerta agilis und *viridis*, die im Terrarium gehalten wurden, wurden in den Monaten April, Mai, Juni alle 14 Tage untersucht.

	agilis ♂	*agilis* ♀	*viridis* ♂	*viridis* ♀
Anfang April	3 : 133,3	2 : 133,0	2 : 112,3	3 : 113,8
Mitte April	2 : 131,3	3 : 136,2	3 : 113,0	2 : 110,8
Anfang Mai	2 : 133,5	3 : 136,3	3 : 115,5	2 : 115,3
Mitte Mai	3 : 131,3	2 : 133,3	3 : 115,8	2 : 116,8
Anfang Juni	2 : 135,5	3 : 137,2	2 : 116,5	3 : 110,3
Mitte Juni	3 : 134,8	2 : 131,0	2 : 114,0	3 : 116,5

Man sieht, daß eine wesentliche Änderung der Erythrocytenzahl in diesen 3 Monaten nicht stattfindet, obwohl in diese Zeit die Brunst und Trächtigkeit fällt, die bei mir im Terrarium völlig normal verlief. (Die Eiablage fand erst nach dem Versuch statt, etwa Ende Juni bis Anfang Juli.) Da sich auch kein Geschlechtsunterschied fand, sind die Geschlechter künftig zusammengezählt worden.

Untersuchung 2.

Unter Bedingungen wie in Untersuchung 1 wurden *L. viridis*, *Tropidonotus natrix* und *Emys orbicularis* in der Zeit von Mitte September bis Anfang Dezember gehalten, einige *L. viridis* darüber hinaus bis Mai.

	L. viridis	*Tropidonotus*	*Emys orbicularis*
Mitte September	7 : 114,5		
Mitte Oktober	7 : 115,1	7 : 99,8	7 : 45,3
Mitte November [1])	9 : 103,4 (96—114)	10 : 87,5	8 : 37,9
Ende November, Anfang Dezember	10 : 87,3	6 : 86,0	4 : 37,8
Mitte bis Ende Dezember	3 : 81,8		
Januar	7 : 88,4		
Februar	3 : 84,5		
März	2 : 85,5		
Mai	3 : 86,5		

1) Die Werte vom 12.—18. November liegen für die 9 Exemplare von *L. viridis* so weit auseinander, daß es keinen Sinn hätte, nur den Durchschnitt zu bilden. Es

Die Erythrocytenzahl ändert sich bei gleichmäßigen Außenbedingungen in den ersten Herbstmonaten nicht, dann tritt ein Abfall von je nach der Spezies 14—25% ein, zu der Zeit, in der die Tiere im Freien in Winterschlaf gefallen wären. Der Abfall ist im Laufe des Novembers beendet und hält sich, wenigstens bei *L. viridis*, den ganzen Winter hindurch bis ins nächste Frühjahr konstant. Die letzten, allerdings nur wenigen Exemplare von *L. viridis*, die im Mai gezählt wurden, weisen dieselbe Zahl auf wie die Tiere der Wintermonate. Die „innere" Periodizität wirkt bei Terrariumtieren also nur in der Zeit des normalen Winterschlafbeginns, nicht aber zur Zeit des Erwachens im Frühling.

Der Befund im Herbst stimmt überein mit den Beobachtungen Babuder's (1929), der, wie oben erwähnt, im November eine starke Zunahme der Degenerationsstadien der Erythrocyten fand.

Es wurde nun untersucht, wie sich die Erythrocytenzahl im Laufe des Jahres unter natürlichen Bedingungen verhält. Zu diesem Zwecke wurden frisch gefangene bzw. frisch angekommene Tiere erst 2 Tage im Terrarium gehalten und dann untersucht. Eine nennenswerte Änderung der Gesamtzahl der Blutzellen war in so kurzer Zeit nicht zu erwarten, wohl aber können zufällige Unterschiede des Wassergehalts in 2 Tagen ausgeglichen werden; um die Austrocknung der von auswärts zugeschickten Tiere möglichst einzuschränken, ließ ich sie in feuchtem Moos versenden.

Da es mir nicht möglich war, Tiere kurz vor oder nach dem Winterschlaf oder während desselben zu bekommen, wurden die Tiere künstlich in einer Kiste mit Torfmull oder Sägemehl (feucht) eingewintert. Dies geschah aber erst, nachdem die Tiere im ungeheizten Terrarium in halbe oder völlige Apathie verfallen waren. Diese Bedingung erfüllte sich aber in unserem Klima etwa einen Monat vor der Zeit, in der die dalmatinischen Arten ihren Winterschlaf beginnen. Es kommt so ein gewisser Fehler in die Ergebnisse; vor allem bleibt offen, ob der im Versuch 2 gefundene Abfall kurz vor dem Winterschlaf auch im Freien eintritt (Babuder's, 1929, Ergebnisse scheinen dafür zu sprechen). Da sich aber die einheimischen Arten *L. agilis* und *vivipara* als zu empfindlich erwiesen, wurden die Versuche im Winter an *L. viridis*, *muralis*, *Tropidonotus* und *Emys* aus Dalmatien vorgenommen.

sind auch die Extreme angegeben. Es handelt sich offenbar um etwas verschiedenes Eintreten der Abnahme bei den verschiedenen Individuen.

Untersuchung 3.

(Die Untersuchungen, die an künstlich eingewinterten Tieren angestellt wurden, sind in den Ergebnissen mit * bezeichnet.)

	L. agilis Berlin	*L. agilis* Bodensee	*L. viridis*	*L. serpa*	*Ophisaurus*	*Tropidonotus*	*Emys*
Januar	—	—	7* : 113,1	—	—	7* : 101,3	—
Februar	—	—	7* : 113,1	—	—	7* : 99,0	—
März	—	—	—	—	—	—	—
April	—	8 : 135,8	7 : 114,9	—	7 : 106,2	7 : 102,4	5 : 45,5
Mai	8 : 133,2	5 : 135,2	7 : 113,1	7 : 148,5	—	7 : 101,9	5 : 45,4
Juni	7 : 136,4	4 : 134,4	8 : 114,0	7 : 146,8	7 : 108,8	7 : 101,3	5 : 45,4
Juli	7 : 135,3	—	7 : 113,1	—	7 : 108,3	7 : 100,3	5 : 44,6
August	7 : 133,5	7 : 137,2	7 : 116,3	—	—	7 : 99,4	5 : 46,0
September	—	7 : 134,1	7 : 113,9	—	—	7 : 102,2	5 : 44,2
Oktober	—	—	7* : 111,4	—	—	7* : 97,8	6* : 42,2
November	—	—	7* : 112,9	—	—	7* : 90,9	6* : 41,7
Dezember	—	—	7* : 112,7	—	—	7* : 99,6	5* : 44,4

Die Erythrocytenwerte der freilebenden Tiere ändern sich also im Laufe der Sommermonate nicht erheblich. Ob dann im Herbst ein Abfall eintritt, kann ich, wie oben erwähnt, nicht entscheiden. An den Tieren, die infolge des kälteren Klimas schon vorzeitig in Schlaf gefallen waren, konnte ich einen größeren Abfall nicht beobachten. Die Erythrocytenzahl hielt sich vielmehr ziemlich unverändert. Ein geringer Abfall war bei *Emys* und *Tropidonotus* zu beobachten, was damit zusammenhängen kann, daß diese beiden Arten sehr langsam in Schlaf verfielen und noch bis Mitte November öfters erwachten.

Da sich gezeigt hatte, daß bei fehlendem Winterschlaf im Terrarium die Erythrocytenzahl stark sinkt, ging ich daran, zu prüfen, ob etwa der Winterschlaf unbedingt den ganzen Winter über notwendig ist, um die Erythrocyten auf der normalen Höhe zu halten. Zu diesem Zweck wurden *L. muralis* und *L. viridis* zu verschiedenen Zeiten des Winters durch Temperaturerhöhung aufgeweckt und längere Zeit hindurch im warmen Terrarium gehalten sowie solche wachgehaltenen Tiere in der Kälte wieder zum Einschlafen gebracht.

Untersuchung 4.

L. muralis und *L. viridis* wurden vor und während des Winterschlafs untersucht; einige nach 4 Wochen Wachhaltung und darauffolgend weiteren 4 Wochen Schlaf

	L. viridis	*L. muralis*
Vor dem Schlaf	7 : 113,9	10 : 145,1
Nach 4 Wochen Schlaf	7 : 112,9	—
Nach 9 Wochen Schlaf	7 : 112,7	4 : 149,5
Nach 3 Monaten Schlaf	7 : 113,1	—
Nach 4 Monaten Schlaf	7 : 113,1	6 : 146,8
Nach 4 Monaten Schlaf, eben von selbst erwacht	—	3 : 147,3
Nach 5 Wochen Schlaf, 4 Wochen wach	7 : 85,6	—
Nach 9 Wochen Schlaf, 4 Wochen wach	7 : 86,3	3 : 124,3
Nach 5 Wochen Schlaf, 8 Wochen wach	4 : 87,2	—
Nach 5 Wochen Schlaf, 4 Wochen wach, 4 Wochen Schlaf	10 : 114,3	—
Nach 9 Wochen Schlaf, 4 Wochen wach, 4 Wochen Schlaf	—	3 : 146,8

Es ergibt sich also folgendes: 1. Die Senkung des Erythrocytenspiegels tritt nicht nur ein, wenn den Tieren jeder Winterschlaf versagt blieb; vielmehr erhält man qualitativ und quantitativ dieselbe Wirkung, wenn man schlafende Tiere ins warme Terrarium zurückbringt. Ebenso wie bei dem Absinken des Erythrocytenspiegels im Herbst im Terrarium (Untersuchung 2) ändert sich die Zahl nach Erreichen eines Endwertes nicht mehr: dieser Endwert ist in beiden Fällen derselbe (*L. viridis*).

2. Der durch Abkühlung erzielte Winterschlaf ist nicht nur imstande, die Erythrocytenzahl im Herbst und Winter auf der normalen Höhe zu halten (Untersuchung 3), sondern auch eine durch völligen Schlafmangel oder vorübergehendes Aufwecken verursachte Verminderung wieder auszugleichen. Alle diese Erythrocytenbewegungen sind nach 4 Wochen beendet. Durch das Aufwachen im Frühjahr wird der Erythrocytenspiegel nicht beeinflußt.

Eine Erklärung wäre etwa folgendermaßen möglich: Durch die Kälte wird die Lebensdauer des einzelnen Blutkörperchens verlängert, gleichzeitig aber auch die Zellteilung im hämatopoetischen Apparat herabgesetzt. Nimmt man an, daß die Verlängerung der Lebensdauer überwiegt, so wäre es zur Aufrechterhaltung der Normalzahl notwendig, die Neuproduktion noch um einen weiteren Faktor zu reduzieren, da die Zahl der Blutkörper gleich ist dem Produkt aus Produktion und Lebensdauer. Diese Reduktion braucht aber nicht abhängig von der Kälte zu sein, sondern könnte im Herbst durch Wirkung einer „inneren“ Periodizität auftreten; das würde zur Folge haben, daß Tiere, die nicht ins Kalte kommen oder aus der Kälte in die Wärme zurückgebracht werden, die Gesamtzahl ihrer Erythrocyten wie folgt verändern:

Ich nenne die Gesamtzahl der Blutkörper im Sommer $n_{(s)}$, im Winterschlaf $n_{(ws)}$, im Winter im warmen Terrarium $n_{(ww)}$; die Lebensdauer eines Erythrocyten im Sommer t, die Produktion im Sommer p. Der „Kältefaktor" für die Produktion sei $\frac{1}{a}$, für die Lebensdauer b. Der „periodische Reduktionsfaktor" $\frac{1}{x}$. Dann hätten wir für die Gesamtzahlen:

1. $n_{(s)} = pt$
2. $n_{(ww)} = \frac{pt}{x}$
3. $n_{(ws)} = \frac{ptb}{ax} = pt$; x ist also $\frac{b}{a}$.

Das bedeutet im Herbst und während des Winters, eben solange die Produktionsherabsetzung dauert, für warmgehaltene Tiere eine Herabsetzung des Erythrocytenspiegels um einen konstanten Betrag, unabhängig von der vorhergehenden Behandlung (Kälte oder Wärme), für kaltgehaltene Tiere ein Verharren auf der Normalzahl.

Im Frühjahr verschwindet mit dem Erwachen die Produktionsherabsetzung, die Normalzahl wird nun auch im Warmen aufrechterhalten. Diese zweite Umstimmung tritt aber nur bei winterschlafenden Tieren ein, die wachgehaltenen sind dazu nicht fähig, sie behalten ihre reduzierte Zahl auch in den nächsten Sommer hinein (*L. viridis*, Untersuchung 2). Viele Arten gehen ja auch regelmäßig im Lauf des Sommers zugrunde, wenn ihnen im Vorwinter der Winterschlaf versagt blieb, was auch mit der mangelnden Umstimmung auf den Sommer zusammenhängen kann.

Eine zweite Annahme wäre möglich, nämlich die, daß sich im Herbst nur eine Tendenz zur Produktionsverminderung einstellt, die nur in der Kälte nicht zur Geltung kommt, sondern durch den Reiz der Wärme ausgelöst wird; dazu müßte man aber annehmen, daß die Produktionsverminderung, die durch die Kälte verursacht wird, und die Verlängerung der Lebensdauer der Erythrocyten genau reziprok sind, wozu meines Erachtens kein Grund vorliegt.

Ein weiterer wichtiger Faktor im Leben der Tiere ist die Meereshöhe des Aufenthaltsorts. Von Säugern ist bekannt, daß die Erythrocytenzahl mit steigender Meereshöhe stark zunimmt, um nach Rückkehr in die Ebene rasch wieder abzufallen. Dieser Abfall ist aber bei Arten, die im Gebirge beheimatet sind (*Arctomys marmotta*, Murmeltier), langsamer und im ganzen geringer (ABDERHALDEN, 1927

u. a.). *Rana fusca* aus den Alpen zeigt höhere Erythrocytenwerte als aus der Ebene (Lövinsohn). Ob hier eine Vergrößerung der Produktion (Laquer, 1913, der nach Aderlässen die Regenerationstendenz bei Hunden in 3000 m Höhe größer fand als in der Ebene) oder eine Verlängerung der Lebensdauer (Fick, 1895) oder ein Wasserverlust des Blutes (Abderhalden, Kotschneff u. a.) oder Kombinationen dieser Faktoren wirksam sind, ist noch nicht entschieden.

Auch bei Schlicher's Versuchen an Fischen, wo ein Wasserverlust durch Verdunstung ausgeschlossen ist, lassen sich Verschiebungen des Wassergehaltes verschiedener Gewebearten gegeneinander und gegen das umgebende Medium nicht ausschalten.

Von den klimatischen Faktoren, die im Gebirge wirken können, hält Lövinsohn (1930) (s. oben) nur das ultraviolette Licht für wirksam auf Kaltblüter; die Erythrocytenvermehrung der Teleosteer, die Schlicher (1927) in undurchlüftetem Wasser beobachtete und die er auf O_2-Mangel zurückführt, schiebt Lövinsohn auf die Anreicherung von CO_2.

Ich habe *Lacerta vivipara* aus dem Tiefland und aus Höhenlagen von 1200—1900 m untersucht, sowie einige Gebirgstiere längere Zeit in der Ebene gehalten und dann untersucht. Ferner habe ich Bestrahlungen mit der künstlichen Höhensonne „Original Hanau" bei Tieflandeidechsen vorgenommen.

Untersuchung 5.

Es wurden 10 *L. vivipara* aus dem Montafon (1200—1700 m) im Tiefland (400 m) nach 2 Tagen Terrariumhaltung untersucht, um zu vermeiden, daß eine etwa gefundene Erhöhung auf die größere Lufttrockenheit zurückgeführt werden könnte. Ebenso wurden 3 mal je 5 Exemplare aus dem Churfirstengebiet (1700 –1900 m) behandelt.

	Lacerta vivipara Jacquin
September Montafon	10 : 145,2
September 1930 Churfirsten	5 : 143,4
September 1931 Churfirsten	5 : 147,6
Juni 1931 Churfirsten	5 : 148,8

Es zeigt sich, daß die Werte der Gebirgstiere erheblich über denen der Tieflandtiere liegen.

Ein Vergleich mit den Zahlen, die Tiere aus Berlin und Holzminden aufwiesen:

	Berlin	Holzminden
September 1929	—	7 : 134,0
Juli 1930	8 : 134,2	—
Juni 1930	8 : 132,1	10 : 130,7

Untersuchung 6.

Hochgebirgstiere wurden 4—6 Wochen in einer Höhenlage von 400 m im Terrarium gehalten. Fundort war das Churfirstengebiet.

	Frisch untersucht	Nach 4—6 Wochen
Juni—Juli	5 : 148,8	4 : 139,9
September—Oktober	5 : 147,6	4 : 136,6

Die Zahl der Erythrocyten der aus dem Gebirge stammenden Tiere sinkt also bei längerem Aufenthalt in tieferen Lagen, erreicht aber nicht den Tiefstand, den die in der Ebene heimischen Individuen zeigen.

Mir scheint daher, daß nicht nur eine akute Einwirkung des Höhenklimas auf das Individuum die Höhe des Erythrocytenspiegels bedingt; sie ist vielmehr entweder erblich fixiert, oder in Form einer „Dauermodifikation“ im Sinne Jollos' (1913) (Veränderung des Plasmas, die erst nach einer oder mehreren Generationen zurückgeht, dann aber restlos); oder es handelt sich nur um eine nachhaltigere Beeinflussung des Individuums, die nach monate- oder jahrelanger Tieflandhaltung doch verschwindet; die Wirkung einer kurzdauernden Bestrahlung mit ultraviolettem Licht dagegen geht, wie wir später sehen werden, in kurzer Zeit vollständig zurück, wenn die Bestrahlung aussetzt, falls keine dauernde Schädigung eintritt. Es gäbe demnach für jeden Standort eine charakteristische Zahl der Erythrocyten, die nicht bedingt ist durch die augenblicklich auf die Tiere wirkenden klimatischen Faktoren: diese läge bei *L. vivipara* bei 130—134 für Tieflandtiere, etwa bei 136—139 für Gebirgstiere. (Vielleicht ist die niedrige Zahl 136 auch schon durch die beginnende Herbstsenkung zu erklären, da der Winterschlaf bei Gebirgstieren früher einsetzt.) Ähnliche Standortdifferenzen, auch bei nicht merklichen Unterschieden der Lebensbedingungen, fand Lövinsohn bei *Rana fusca* von zwei Standorten, die beide tief gelegen sind (Berlin und Holzminden).

Neben diesem „festgelegten" Standortsunterschied käme im Hochgebirge noch die akute Klimawirkung zur Geltung, die eine weitere, aber reversible Erhöhung des Erythrocytenspiegels zur Folge hat. Es ist auch möglich, daß nur denjenigen Stämmen, die sich durch eine bestimmte Reaktionsfähigkeit auf die Faktoren des Höhenklimas (z. B. ultraviolettes Licht) auszeichneten, die Möglichkeit gegeben war, ins Gebirge vorzudringen (Lövinsohn). Lövinsohn fand nämlich bei *Rana fusca* die Berliner Rasse und die Holzmindener in verschiedener Weise empfindlich gegen Ultraviolett:

Die Berliner Rasse wird durch Ultraviolett dunkel pigmentiert, so daß das Ultraviolett nicht auf die inneren Teile wirken kann; ihre Erythrocytenzahl wird weit weniger erhöht als bei der Holzmindener Rasse, die andererseits ihr Pigment nicht so stark vermehrt.

Untersuchung 7.

Die Wirkung einer Bestrahlung mit dem ultravioletten Licht der Quecksilberdampf-Quarzlampe wurde an *L. vivipara* aus Holzminden geprüft. Die Kontrollen wurden, bis auf das Fehlen der Bestrahlung, ebenso gehalten, wie die Versuchstiere. Ferner wurde die Wirkung des nichtultravioletten Anteils der Quarzlampe durch Zwischenschaltung einer dicken Glasplatte zwischen Lichtquelle und Versuchstiere geprüft.

Im Vorversuch starben 7 Exemplare, die der „kleinen" Höhensonne in 35 cm Abstand ausgesetzt wurden, nach 9–13 Bestrahlungsstunden; die 2 letzten noch Überlebenden zeigten Erythrocytenwerte von 17,5 und 19; es war also eine Zerstörung von ca. $^7/_8$ aller Erythrocyten eingetreten.

Folgende Bedingungen erwiesen sich als günstig und kamen in diesen Versuchen stets zur Anwendung: „Große" Höhensonne Original Hanau, Abstand von der Lichtquelle 150 cm. Erste Bestrahlung $^1/_4$ Stunde, dann tägliche Steigerung um 10 Minuten, aber nicht über die maximale Tagesdosis von 1 Stunde.

Es wurde entweder 3, 6, 9 oder 12 Stunden im ganzen bestrahlt und am Tage der Bestrahlung untersucht, also am 5., 8., 11. und 14. Tage nach Beginn der Behandlung. Im folgenden ist stets angegeben, aus welcher Serie die Tiere stammten; gleichzeitige Untersuchungen sind bei den Versuchstieren und Kontrollen durch gleiche Buchstaben bezeichnet; es ist außerdem angegeben, ob die Kontrollen durch eine Glasplatte oder gar nicht bestrahlt wurden (bestrahlt oder unbestrahlt).

Da die Ergebnisse nicht einheitlich ausfielen, sondern in einer Serie oft große Differenzen zwischen den einzelnen Tieren auftraten, sind diesmal nicht die Durchschnitte, sondern alle Werte aufgeführt.

Versuchstiere		Kontrollen	
3 Stunden Bestrahlung (nach 5 Tagen)		bestr.	bestr.
a) 128	b) 137	a) 132	b) 128,5
137,5	142,5	140	131
139	130	138	130,5
130	134	127,5	137
139,5	136,5	128	133,5
143	129		
131			
138,5			
127,5			
131,5			

Versuchstiere			Kontrollen		
6 Stunden Bestrahlung (nach 8 Tagen)			bestr.	bestr.	unbestr.
c) 139	d) 150,5	e) 128	c) 134,5	d) 136	e) 131,5
129,5	157	139,5	130	130,5	141,5
148	149	121	139,5	129	136
155	139	156,5	131	128	130
149,5	125,5	141	127	130,5	125
160	167,5	(1 Tote)			
	131				
9 Stunden Bestrahlung (nach 11 Tagen)			bestr.	bestr.	unbestr.
f) 157,5	g) 132	h) 159,5	f) 128	g) 137,5	h) 135
160	122	148	136	130	128
149	157	132,5	130,5	132,5	134,5
123,5	126	149,5	132	136	140,5
148,5	151,5	120		135,5	133,5
130	130	129			
139	163,5	143			
	(2 Tote)	127,5			

12 Stunden Bestrahlung (nach 14 Tagen)		bestr.	unbestr.
i) 156	k) 131	i) 141,5	k) 136,5
162,5	150	132	130
131	160,5	130,5	131,5
147,5	121	130	123
156,5	119	131	(1 Tote)
151,5	145,5		

Man sieht, daß nur der ultraviolette Teil des Quarzlampenspektrums sich als wirksam erwies; die Kontrollen, die unter Glas bestrahlt wurden, zeigten keinen Unterschied gegen die gänzlich unbestrahlten. Die Wirkung des Ultraviolett ist aber auch nicht

einheitlich. Die 3stündige Bestrahlung blieb ohne jeden Erfolg. Bei längerer Dauer traten alle Stufen von starker Erhöhung bis zu starker Senkung des Erythrocytenspiegels auf; mir scheint, daß hier die jeweilige Konstitution des Einzeltieres den Ausschlag gibt; weniger kräftige Exemplare erfahren die schädigende Wirkung der ultravioletten Strahlen schon bei einer Dosis, die für andere nur einen Impuls zur Neubildung von Erythrocyten darstellt; für diese Annahme spricht, daß die Zahl der Senkungen mit steigender Dosis zunimmt; auch die tiefsten Werte wurden bei 12stündiger Bestrahlung erreicht. Die Erhöhung scheint aber nach oben hin begrenzt zu sein, wenigstens liegen die höchsten Werte bei den 6-, 9- und 12stündigen Bestrahlungen etwa in gleicher Höhe (167,5, 163,5, 162,5).

Es war nun noch nötig, festzustellen, ob die Veränderungen, die das ultraviolette Licht an Tieflandeidechsen bewirkt, nach Aufhören der Bestrahlung zurückgehen, oder ob sie sich, wie die Unterschiede der Tieflandtiere gegen Gebirgstiere, ganz oder zum Teil erhalten. Zu diesem Zweck wurden Eidechsen, die 9 Stunden mit der Quarzlampe bestrahlt worden waren, 3 Tage bis 4 Wochen ohne Bestrahlung im Terrarium gehalten. Untersucht wurde nach 3, 14, 28 Tagen.

Untersuchung 8.

L. vivipara, 9 Stunden Quarzlampe, dann Terrariumhaltung

nach 3 Tagen		nach 14 Tagen		nach 28 Tagen	
a) 159	b) 150	a) 134	b) 128	a) 131,5	b) 124,5
162,5	126,5	153,5	137,5	128,5	108
148		129	134	139,5	138
		123	130	112	130,5
		130,5	131,5	133	129,5
		125	120,5	103,5	132
			(1 Tote)	134	100
				128	72
				89	

Nach der Bestrahlung gehen die hohen Erythrocytenzahlen nach 3 Tagen nicht, nach 14 Tagen fast völlig, nach 28 Tagen ganz zurück. Diese Wirkung ist also reversibel. Die niedrigen Werte sind nach wie vor vorhanden, die Extreme sind in 4 Wochen stark nach unten verschoben. Wegen der Häufigkeit der niedrigen Zahlen halte ich sie nicht für zufällige Anämien; nach der oben geschilderten Ansicht würden sie sich etwa so erklären: Diejenigen Exem-

plare, die durch ihre von vornherein weniger widerstandsfähige Konstitution durch die Strahlen geschädigt worden sind, erholen sich zum Teil; der Prozentsatz der niedrigen Zahlen ist nach 4 Wochen ja geringer als unmittelbar nach der Bestrahlung. Aber nicht alle sind dazu noch imstande, und einige gehen unter anämischen Erscheinungen langsam zugrunde.

Zusammenfassung.

1. Es wurden die Zahlenverhältnisse der roten Blutkörper bei einigen europäischen Reptilien im normalen Verlauf des Jahres und unter veränderten Bedingungen untersucht.

Die jahreszeitliche Periodizität hat im Sommer keinen Einfluß auf die Erythrocytenzahl.

Läßt man die Tiere im ungeheizten Behälter freiwillig in Schlaf fallen, so tritt ebenfalls keine erhebliche Änderung des Erythrocytenspiegels ein. Der Winterschlaf tritt aber etwa 1 Monat früher als in der dalmatinischen Heimat ein.

Wenn man den Tieren durch gleichmäßige Wärme den Winterschlaf vorenthält, so tritt etwa Mitte November eine Senkung der Erythrocytenzahl ein, deren Ausmaß artspezifisch ist; dasselbe geschieht, wenn die Tiere durch Erwärmen aus dem Schlaf erweckt und dann warm gehalten werden.

Diese Senkung bleibt den Winter hindurch bei gleichmäßiger Warmhaltung bestehen und ändert sich auch (*L. viridis*) im Frühjahr nicht mehr.

Die Senkung geht zurück, wenn man die Tiere aus der Wärme ins Kalte und damit in Winterschlaf zurückbringt.

Temperaturschwankungen von 10°—40° C haben keinen Einfluß auf den Blutkörperspiegel.

Hunger ist ebenfalls unwirksam.

Trockenheit erhöht den Erythrocytenspiegel durch Bluteindickung sehr schnell.

2. *L. vivipara* aus dem Hochgebirge hat eine höhere Erythrocytenzahl als Tieflandeidechsen zur gleichen Zeit.

Diese Differenz verschwindet bei längerer Tieflandhaltung der Gebirgstiere nicht völlig, es tritt aber eine gewisse Senkung der Erythrocytenzahl ein.

Von den Faktoren, die im Gebirge wirksam sein können, kommt vor allem das ultraviolette Licht in Betracht. Es erhöht bei richtiger Dosierung in der Mehrzahl der Fälle die Erythrocytenzahl

erheblich, bei einigen Exemplaren wirkt es senkend. Das wird auf verschiedene Konstitution der Tiere vor der Bestrahlung zurückgeführt.

Die Erhöhungen durch ultraviolettes Licht sind (im Gegensatz zu den höheren Zahlen der Gebirgstiere) restlos reversibel; die Senkungen sind es nicht immer, manchmal schreiten sie nach der Bestrahlung noch fort und erreichen dann extrem niedrige Werte.

Zusatz. Nach Abschluß des Manuskriptes veröffentlichte R. Weigmann eine Notiz: Die Erythrocytenzahlen von freilebenden *Lacerta vivipara* liegen im Winter über den Werten für Sommertiere. Weigmann hält es für möglich, daß eine durch Bluteindickung hervorgerufene Gefrierpunktserniedrigung eine größere Kältebeständigkeit dieser Tiere zur Folge hat. (*Lacerta vivipara* geht von allen *Lacerta*-Arten am weitesten nach Norden und am höchsten im Gebirge.)

Literaturverzeichnis.

Abderhalden, E. u. Loewy, A., 1927, Die Wirkung des Höhenklimas auf den tierischen Organismus, in: Pflüger's Arch., Vol. 216, p. 362.

— u. Rostett, G., 1927, Die Bedeutung der Milz für Blutmenge und Blutzusammensetzung, ibid., Vol. 216, p. 308.

Alder, A. u. Huber, E., 1923, Untersuchung über Blutzellen und Zellbildung bei Reptilien und Amphibien, in: Folia Haematologica, Vol. 29, p. 1.

Babuder, B., 1929, Variazioni stagionali della formula ematica di Lacerta muralis, in: Natura, Vol. 20, 3, p. 92.

Berner, K., 1915, Über die Wirkung der Bestrahlung mit der Quecksilberdampfquarzlampe (künstliche Höhensonne), in: Strahlentherapie, Vol. 5, p. 308.

Bleibaum, J., 1924, Ein Beitrag zur Klärung der physikalischen Grundlagen der Lichtbestrahlung, ibid., Vol. 18, p. 220.

Cohnheim, O. u. Weber, O., 1913, Die Blutneubildung im Hochgebirge, in: Dtsch. Arch. klin. Med., Vol. 110, p. 225.

Fick, A., 1895, Bemerkungen über die Vermehrung der Blutkörperchen an hochgelegenen Orten, in: Pflüger's Arch., Vol. 60, p. 121.

Gassul, R., 1919, Experimentelle Studien über das Verhalten des Blutes im Hochgebirge, in: Strahlentherapie, Vol. 9, p. 232.

Heesen, W., 1924, Über die Zahlenverhältnisse der roten und weißen Blutkörperchen der heimischen Amphibien im Wechsel der Jahreszeiten, in: Ztschr. vergl. Physiol., Vol. 1, p. 500.

Hobert, H., 1923, Über die Blutregeneration anämischer Mäuse im Licht, im Dunkeln und unter Einwirkung künstlicher Höhensonne, in: Klin. Wochenschr., Jg. 1923, p. 1213.

Jollos, V., 1931, Genetik und Evolutionsproblem, in: Verh. D. Zool. Ges., p. 252.

Koenigsfeld, H., 1921, Stoffwechsel- und Blutuntersuchung bei Bestrahlung mit künstlicher Höhensonne, in: Ztschr. klin. Med., Vol. 91, p. 159.

Krüger, P. u. Kern, H., 1924, Die physikalische und physiologische Bedeutung des Pigments bei Amphibien und Reptilien, in: Pflüger's Arch., Vol. 202, p. 119.

Lange, W., 1919, Untersuchung über Hämoglobingehalt, Zahl und Größe der Erythrozyten, in: Zool. Jahrb., Allg. Zool., Vol. 36, p. 657.

Laquer, F., 1913, Höhenklima und Blutneubildung, in: Dtsch. Arch. klin. Med., Vol. 110, p. 189.

—, 1919, Höhenklima und Blutneubildung, in: Ztschr. Biol., Vol. 70, p. 118.

—, 1928, Blutbildung im Hochgebirge, in: Hdb. norm. pathol. Physiol., Vol. VI_2, p. 719.

Loewy, A. u. Vogel Eysern, 1928, Über die physiologische Wirkung der ultravioletten Strahlen, in: Strahlentherapie, Vol. 29, p. 333.

Malassez, 1872, De la numération des globules rouges du sang, in: C. R. Acad. Sci. Paris, Vol. 75, p. 1528.

Merker, E., 1923, Das Verhalten feuchthäutiger Tiere im Licht, in: Zool. Anz., Vol. 57, p. 291.

—, Die Empfindlichkeit feuchthäutiger Tiere im Licht, I, 1925, in: Zool. Jahrb., Vol. 42, Physiol. p. 1; II, 1926, ibid., Vol. 42, p. 488; III, 1927, ibid., Vol. 43, Physiol. p. 275.

—, 1926, Die Atemnot beim Belichten neutralroter Feuchthäuter, in: Zool. Anz., Vol. 65, p. 34.

Pauli, W. E. u. Dennig, H., 1927, Über die Durchlässigkeit der tierischen und menschlichen Haut im sichtbaren Teil des Spektrums, in: Strahlentherapie, Vol. 26, p. 761.

Schlicher, J., 1927, Vergleichend-physiologische Untersuchungen über die Blutkörperchenzahl bei Knochenfischen, in: Zool. Jahrb., Vol. 43, p. 121, Physiol.

Schulz, F., 1925, Das Blut der Wirbeltiere, in: Winterstein, Hdb. vergl. Physiol., Vol. I_1, p. 1111.

Weber, H., 1919, Viskosität des Blutes und Blutserums im Höhenklima, in: Ztschr. Biol. Vol. 70, p. 133.

Weigmann, R., 1932, Jahreszeitliche Unterschiede in der Erythrozytenzahl bei Lacerta vivipara Jacq., in: Zool. Anz., Vol. 100, H. 1/2, p. 43, 10. Juni 1932.

Welcker, 1863, Größe, Zahl, Volumen, Farbe der Blutkörperchen bei Menschen und Thieren, in: Ztschr. rat. Med., Vol. 20, p. 275.

Lebenslauf.

Ich, Roland Richter, bin am 24./1. 1909 als Sohn des a. o. Professors der Philosophie Raoul Richter und seiner Frau Lina, geb. Oppenheim, zu Leipzig geboren. Ich besuchte von meinem 6. bis zu meinem 10. Lebensjahr eine Privatschule in Wannsee bei Berlin, von da ab bis zu meinem 18. Jahre war ich auf dem Landerziehungsheim Schloßschule Salem am Bodensee. Ich bestand im Frühjahr 1927 das Abiturientenexamen an dem Gymnasium in Konstanz. Nach Absolvierung eines kleinen zoologischen Praktikums an dem Institut für Seenforschung in Langenargen am Bodensee studierte ich 8 Semester Zoologie in Heidelberg und Berlin. Meine Lehrer waren die Professoren: A. Czaja, P. Deegener, L. Diels, M. Hartmann, K. Herbst, R. Hesse, Jaspers, Jost, H. Maier, H. Merton, J. Spek, E. Wagler, C. Zimmer. Besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. R. Hesse für die ständige Förderung, die er meiner Arbeit hat zukommen lassen.